MN51

Folgerungen der DIRAC'schen Hypothese für die Physik des Erdkörpers

von

HANS-JOST BINGE

Hamburg 1962

Folgerungen der DIRAC'schen Hypothese für die Physik des Erdkörpers

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Hamburg

vorgelegt von

Hans-Jost B i n g e
aus Hamburg

Genehmigt von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen
Fakultät der Universität Hamburg
auf Antrag von Professor Dr. JORDAN

Hamburg, den 31. Januar 1962

Prof. Dr. Kosswig
Dekan

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Fotodruck: Mikrokopie G.m.b.H. München 2, Weinstr. 4

Folgerungen der DIRAC'schen Hypothese für die Physik des Erdkörpers

1) Einleitung (Ziel der Untersuchung)

2) Periphere Expansions-Vorgänge (Vulkanismus)
   a) Die Beobachtung der Expansionswirkung
   b) Die chemischen Reaktionen
   c) Hinweise auf die Ursachen der chemischen Umwandlungsvorgänge

3) Die Bildung von Grabenbrüchen und interkontinentalen Meeren
   a) Der primäre Grabenbruch
   b) Die Bildung interkontinentaler Meere aus Grabenbrüchen durch Dehnung des Meeresbodens
   c) Tektonische Argumente für eine allgemeine Erdexpansion

4) Physikalische Grundlagen der Erdexpansion
   a) Die Hypothese von DIRAC
   b) Der Zustand des Erdinnern

5) Schlußbemerkungen

1) Einleitung

In seinem Festvortrag zum 100. Geburtstag von Max PLANCK hat Professor G. HERTZ darauf hingewiesen, daß die Quantentheorie ohne die Notwendigkeit zur Erklärung rätselhafter experimenteller Befunde nicht entstanden wäre. Auch die spezielle Relativitätstheorie beruht in der Hauptsache auf einem Experiment: Dem MICHELSON-Versuch.

Wir sehen danach, daß jede Theorie eigentlich ihre Existenzberechtigung daran erweist, daß bisher unverständliche Tatsachen durch sie erklärt werden. Bei der allgemeinen Relativitätstheorie war es beispielsweise die Drehung des Merkur-Perihels, die den Nachweis erbrachte, daß diese Theorie besser war als das NEWTON'sche Gravitationsgesetz.

Wenn also eine Theorie wie die von DIRAC, daß der Faktor f in der NEWTON'schen Kraftformel $K = \frac{M_1 M_2 f}{r^2}$ zeitlich variabel sei, gut sein soll, so muß man Effekte haben, die deutlich zeigen, daß sie anders schwerer oder gar nicht aufzuklären sind. Im Folgenden sollen eine Reihe physikalischer Effekte behandelt werden, die bei der Entwicklung der Erde aufgetreten sind und deutlich zeigen, daß man kaum ohne eine Abnahme von f auskommen kann.

Die Reihenfolge, in der diese Effekte behandelt werden sollen, ist so gewählt, daß zunächst von vollkommen überschaubaren Verhältnissen ausgegangen wird. Im weiteren werden diese Effekte als Grundlage weiterreichender Schlüsse benutzt. Wir beginnen mit einer grundsätzlichen Frage über das Wesen des Vulkanismus.

2) Periphere Expansions-Vorgänge (Vulkanismus)

a) Die Beobachtung der Expansionswirkung

An vielen Stellen der Erde sind von unten her glutflüssige Massen in die äußeren, aus Sedimenten bestehenden Gesteinsschichten eingedrungen. Sie sind teilweise als plumpe kegelförmige Massive aufgestiegen (Bysmalithe) oder haben sich, aus schmalen Förderkanälen kommend, zwischen zwei Schichten des Sedimentgebirges polsterartig ausgebreitet (Lakkolithe). Bei den Lakkolithen ist es manchmal evident, daß das Magma expandiert ist, denn das Hangende ist oft stark aufgewölbt. Wäre das Magma nicht expandiert, so hätte am unteren Ende des Förderkanals bei dem dort herrschenden Druck ein Einbruch des Herddaches erfolgen müssen, der die Anhebung der oberen Schichten kompensiert hätte. Die Bysmalithe heben oft die hangenden Schichten stark an, so daß es an ihren Rändern zur Verwerfung kommt. So hat ein Bysmalith im Yellowstone-Park Schichten vom Kambrium bis zum Karbon hochgehoben. Über die Entstehung eines Bysmalithen auf der Halbinsel Kola äußert
(1) der russische Geologe FERSMANN (1), daß die Intrusion durch explosionsartige Ausbrüche erfolgt sei. Dabei muß betont werden, daß bei der Bildung von Glimmer und Hornblende in den Gesteinen der Bysmalithe und Lakkolithe ein großer Teil des gelösten magmatischen H_2O im Gestein verbleibt. Die "explosionsartigen Ausbrüche" haben also wenig mit Entgasung zu tun, sondern es handelt sich um eine Expansion des halbflüssigen Magmas selbst.

Wie diese Expansion bei größeren Bysmalithen und
(2) Batholithen sich entwickelt, hat H. CLOOS (2) untersucht. Er betont, daß die Expansion der inneren Bereiche des Intrusionskörpers noch stattfindet, wenn die äußeren Bereiche schon erstarrt sind. Das führt zur Bildung radialer Klüfte im Mantelteil des

Intrusionskörpers und im Nebengestein, die ebenfalls deutliche Kennzeichen eines Expansionsvorganges sind. Wenn ein alter Vulkan durch Erosion bis auf seine Unterlage abgetragen ist, so zeigt diese (aus sedimentären und metamorphen Gesteinen bestehende) Unterlage radiale Klüfte (Kegelgänge nach J.E. RICHEY und
(3) H.H. THOMAS) (3), die beweisen, daß sich der tief im Untergrund liegende Vulkanherd selbst in analoger Weise zu einem Bysmalith verhalten hat.

Bei einer Neuentstehung eines Vulkanes (Monte Nuevo bei Pozzuoli, Jorullo und Paricutin in Mexiko) geht der ersten Eruption oft die Bildung einer lakkolithartigen Aufwölbung voran, die unmittelbar danach
(4) aufreißt und dann Eruptionsmaterial ausschleudert. (4) Dieser Hergang zeigt wiederum deutlich, daß schon vor der explosiven Entgasung des Magmas beim Ausbruch eine Expansion stattfinden muß.

Die Bildung von Staukuppen, die auf dem Mont Pelée auf Martinique und dem Merapi auf Java entstanden sind und an alten Vulkanen öfter beobachtet werden (Puy de la Chopine in der Auvergne), findet meist ohne Entgasung statt, die erst beim Zerbrechen der Staukuppe eintritt (Explosionen vom Pelée-Typus, Glutwolken und Glutlawinen). Bei den Glutlawinen des Merapi
(5) spielen die Gase eine recht untergeordnete Rolle (5), so daß sie nicht für das Hochquellen der Staukuppe verantwortlich gemacht werden können.

Es ist überhaupt eine noch nicht geklärte Frage, wie im Anfang das Magma aufzusteigen beginnt. Im Pazifik hat man rund um Hawaii Meerestiefen von 5000
(6) Metern und mehr gemessen (6), wobei betont werden muß, daß die ganze bis 4000 Meter über dem Meeresspiegel aufragende Insel aus Sima besteht (Ozeanit = olivinreicher Basalt). Die ganze Insel ist also ein 9000 Meter hoher Basaltberg, an dessen Basis das Magma

unter 2700 Atmosphären Druck steht und dennoch noch nach oben gepreßt wird. Dieses Verhalten des Ozeanit-Magmas, das der Isostasie grob widerspricht, läßt sich durch Temperatur-Erhöhung und Bildung von Glasblasen nicht erklären. Man muß schon annehmen, daß die treibende Kraft des Magma-Aufstiegs im Umbau der Molekularstruktur des Magmas selbst liegt.

b) Die chemischen Reaktionen

Nach der später zu erörternden Auffassung von
(7) KEINDL, L. EGYED und JORDAN (7) überzog das Sial die Erde ursprünglich mit einer gleichmäßigen Haut. Diese Haut entstand aus Tonsedimenten eines hydrothermalen
(8) Urozeans (8), der, da er sehr viel chemisch aktive Substanzen (HCl und HF) enthielt, wohl alle "Gebirge" der Urkruste durch Erosion eingeebnet hat. Diese Tonsedimente haben sich durch Metamorphose in das heutige Gneis-Granit-Sial der Kontinental-Schollen verwandelt. Dabei zerfiel das Kaolin $H_4Al_2Si_2O_9 \rightarrow 2H_2O +$ $SiO_2 + Al_2SiO_5$. Das dabei entstehende H_2O stand nun unter einem SO hohen Druck, daß es nicht sieden konnte, sondern auch noch als Gas etwa die Dichte der Flüssigkeit beibehielt. In diesen pneumatolytischen Zustand führte aber die Anwesenheit von H_2O dazu, daß sich die normalerweise im festen Gestein "eingefrorenen" Silikate in geologisch kurzer Zeit untereinander ins chemisch-thermodynamische Gleichgewicht setzten. Dieses Gleichgewicht hängt aber sehr vom Druck ab, und so bildeten sich in größerer Tiefe Mineralkombinationen aus, die zwar leicht zerfallen, aber wegen geringeren Volumens bei hoher Kompression stabil sind (Eklogit-Facies).

Unter Umständen, beispielsweise bei Auskühlung gehobener Krustenteile vor der Erosion oder bei sehr rascher Förderung wie in den Pipes Südafrikas kann die Eklogit-Facies einfrieren, so daß sie einen bei

Atmosphärendruck metastabilen Zustand hat, der allerdings bei der Temperatur des Erdinnern in geologisch kurzer Zeit sich in Mineralkombinationen geringerer Dichte umwandelt. Durch die eingefrorenen Eklogite sind uns die Hochdruck-Mineralien bekannt, z.B. Granat (Pyrop $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ und Grossular $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$, wobei ein Teil der Erdalkalien auch durch zweiwertiges Fe ersetzt werden kann), Jadeit ($NaAlSi_2O_6$) und Omphacit ($NaAlSi_2O_6$ + x $CaMgSi_2O_6$) (9). Als typischer Eklogit wird eine Mischung aus Granat und Omphacit betrachtet.

Es ist anzunehmen, daß mit Aufnahme der obersten Schichten (bis etwa 15 km Tiefe) die Gesteine der Silikathülle einen mehr oder minder ausgeprägten Eklogit-Charakter haben oder zum mindesten früher einmal hatten. Die mittlere Zusammensetzung der Silikathülle dürfte wohl aus der Zusammensetzung der Sonne, die entweder direkt die Erde erzeugt hat oder wenigstens aus der gleichen Materie entstanden ist, abgeleitet werden können. Da Na, Al und Ca auf der Sonne gegenüber Mg relativ selten sind, dürfte die Hauptmasse des Silikats auf der Erde ein eisenhaltiger Sima-Eklogit sein mit der näherungsweisen Zusammensetzung: 2 $Mg_2FeAl_2Si_3O_{12}$ + $NaAlSi_2O_6$ + 2 $CaMgSi_2O_6$.

Denken wir uns nun, daß die Eklogit-Schale eine Temperatur von mehr als 1000° Celsius hat, so ergibt sich daraus, daß beim Einreißen von Brüchen in den hangenden Schichten (Grabenbrüche oder Beginn der Bildung eines Ozeans) oder gar beim Aufreißen einer "abyssalen" Spalte nach RITTMANN in der Eklogit-Schale selbst die Druckentlastung in relativ kurzer Zeit zu einer Änderung des chemischen Gleichgewichts führen muß. Dabei wird eine neue Mineral-Kombination gebildet:
2 $Mg_2FeAl_2Si_3O_{12}$ + Na $AlSi_2O_6$ + 2 Ca $MgSi_2O_6$
= $NaAlSi_3O_8$ + 2 $CaAl_2Si_2O_8$ + Fe_2SiO_4 + 2 Mg_2SiO_4 + 2 Mg Si O_3. Der Eklogit zerfällt also in Plagioklas (Labradorit = 33,3 % Albit + 66,7 % Anorthit), Olivin

und Augit (Enstatit), was zusammen einen Olivin-Basalt ergibt, wie er beispielsweise als Ozeanit von den Hawaii-Inseln bekannt ist. Tatsächlich zeigt die Zusammensetzung der als Griquait in den südafrikanischen Kimberlit-Pipes emporgeschleuderten Eklogitbrocken volle Übereinstimmung mit der Zusammensetzung einer Basalt-Lava von den Hawaii-Inseln (nach H. BORCHERT und E.
(1o) TRÖGER) (10).

Um den Aufstieg der vulkanischen Magmen zu verstehen, betrachten wir nun die vereinfachte Formel:

$$2\ Mg_3Al_2Si_3O_{12} + NaAlSi_2O_6 + 2\ CaMgSi_2O_6 = NaAlSi_3O_8 + 2\ CaAl_2Si_2O_8 + 3\ Mg_2SiO_4 + MgSiO_3.$$

Wir stellen nun die physikalischen Daten der beteiligten Massen in einer Tabelle zusammen (Dichtewerte nach P. NIGGLI):

Mineral	Formel	Dichte	Masse	Volumen
Pyrop	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	3,51	806,16	229,96
Jadeit	$NaAlSi_2O_6$	3,2	202,09	63,15
Diopsid	$CaMgSi_2O_6$	3,27	433,04	132,43
Eklogit	siehe oben	3,39	1441,29	425,54
Albit	$NaAlSi_3O_8$	2,511	262,15	104,40
Anorthit	$CaAl_2Si_2O_8$	2,752	556,28	202,14
Forsterit	Mg_2SiO_4	3,216	422,10	131,25
Enstatit	$MgSiO_3$	3,18	200,76	63,13
Basalt	wie oben	2,88	1441,29	500,92

Bei dieser Reaktion nimmt also die Dichte von 3,39 auf 2,88 ab, d.h. die Substanz dehnt sich auf das 1,177fache des Eklogit-Volumens aus.

Die obere Grenze der magmatischen Eklogit-Facies (Griquait) ist nun nach H. BORCHERT und E. TRÖGER (loc. cit.) identisch mit der Mohorovicic-Diskontinuität

der Seismologen. Diese liegt unter den Kontinenten in etwa 60 km Tiefe, unter den Ozeanen dagegen in höchstens 15 km Tiefe. Dies mag wohl darauf zurückzuführen sein, daß nach der Bildung der Ozeanbecken das Sima dort gehoben wurde, aber gleichzeitig durch das kalte Ozeanwasser rasch auskühlte, so daß der Griquait auch dort einfror.

Bei der Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von einem Grad Celsius auf 40 bis 50 m Tiefe ist aber in 50 km Tiefe unter dem Meeresboden die Temperatur etwa 1000 bis 1200°C. Daraus folgt, daß bei einer Zerreißung die Umwandlung in Basalt eintritt und durch Einschmelzen des Daches oder Aufsteigen der umgewandelten Magmamasse infolge isostatischen Ausgleichs die Mohorovicic-Diskontinuität auf die normale Tiefe von 60 km gebracht wird. Tritt nämlich die "Basaltisierung" des Griquaits zuerst in der heißen Tiefenschicht auf, so liegt leichteres Material unter schwererem, und es tritt entweder eine Auspressung des Magma-Herdes in Analogie zu den Salzstöcken ein oder das Dach sinkt, nachdem es zerbrochen ist, im Magma unter. In der Tiefe wird aber das Material bald so durchgewärmt, daß sich im Bereich des Magma-Herdes oberhalb des normalen Niveaus der subkontinentalen Obergrenze des Griquaits keine Hochdruckphase mehr halten kann.

Bei der Umwandlung einer Schicht von 50 km Griquait ergibt sich eine Basaltschicht von 50.1,177 = 58,65 km Dicke, die also etwa 9 km hoch über dem noch nicht umgewandelten Meeresboden emporragt (Hawaii).

Wie schon oben erwähnt wurde, dürften die Kontinentalschollen Reste der ursprünglichen Erdrinde sein (nach EGYED, loc. cit. 7). Unter ihnen hat sich in den obersten sechzig Kilometern bis zur Mohorovicic-Diskontinuität eine Entmischung der ursprünglich ebenfalls basaltischen Schmelze vollzogen, so daß dort eine Sialschicht (von oben nach unten Tonschiefer,

Glimmerschiefer, Gneis, Diorit, normales Gabbro und Anorthosit) über einer ziemlich reinen Simaschicht
(11) (Pyroxenit und Dunit) liegt (11).

An der Mohorovicic-Diskontinuität grenzt also dort der Dunit an den Griquait. Man kann aber vermuten, daß eine natriumreiche jadeitische Restschmelze in den Dunit eingedrungen ist, der also dort ein Gemisch aus Olivin und Jadeit wäre. Zerreißt nun ein Kontinent, so tritt wiederum Druckentlastung ein, wobei sich das Olivin-Jadeit-Gemisch bei der in 60 km Tiefe herrschenden Temperatur in ein Nephelin-Pyroxen-Gemisch umwandelt (Dichtewerte nach P. NIGGLI):

	$NaAlSi_2O_6$	+	Mg_2SiO_4	=	$NaAlSiO_4$	+ 2	$MgSiO_3$
	Jadeit		Olivin		Nephelin		Enstatit
Dichte:	3,2		3,22		2,62		3,18 .

Wie man sieht, bedeutet die Bildung von Nephelin ebenfalls eine erhebliche Volumenzunahme, mit der beim Übergang Griquait → Ozeanit-Basalt diskutierten Folge des Magmaaufstiegs. Ein solches Nephelin-Pyroxen-Gestein wird Atlantit genannt, weil es bei den Vulkanen im Atlantischen Ozean ausgeworfen wurde. Auch im Bereich des Indischen Ozeans und der Ostafrikanischen Grabenbrüche wird Atlantit ausgeworfen, so z.B. vom
(12) Napak-Vulkan in Uganda (12).

An der Untergrenze der Gneisschicht haben sich z.T. ebenfalls Mineral-Kombinationen gebildet, die sich, wenn sie Gelegenheit dazu haben, unter Expansion in Vulkangesteine (Granit, Porphyr, Rhyolith) verwandeln. Es sind dies die eben oberhalb der Conrad-Diskontinuität der Seismologen liegenden Granat-Sillimanit-Gneise, deren Pauschal-Zusammensetzung den Graniten entspricht. Die Umwandlung erfolgt dann nach der Formel (Dichte von Kaliglimmer (Moskowit) nach
(13) J. D'AUS und E. LAX (13), alle anderen Dichteangaben

nach P. NIGGLI):

Al_2SiO_5	+	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	+	$H_2KAl_3Si_3O_{12}$	+	$2\ SiO_2$
Silimanit		Granat		Kaliglimmer		Quarz
Dichte: 3,1		3,53		2,8		2,65
$= KAlSi_3O_8$	+	$3\ CaAl_2Si_2O_8$		$+ H_2O$		
Orthoklas		Anorthit		Wasser		
Dichte: 2,57		2,75		1,0		

Man sieht daraus, daß auch hier eine Expansion stattfindet, wobei die Dichte nach H. BORCHERT und E. TRÖGER (14) (14) von 2,85 auf 2,55 abnimmt. Außerdem tritt bei hohem Glimmergehalt starke Wasserdampfentwicklung auf, die zu den typischen Explosionen der Sial-Vulkane (15) führt (15).

c) Hinweise auf die Ursachen der chemischen Umwandlungsvorgänge

Wir sehen, daß der Vulkanismus hauptsächlich an die Existenz von Hochdruckmineralien, wie Granat, Jadeit usw. gebunden ist, die bei den Temperaturen des Erdinnern sich relativ rasch im Sinne einer Expansion umwandeln, wenn sich der Druck verringert. Hätten wir nun im Durchschnitt in der Erde eine konstante Druckverteilung über lange Zeiträume, so müßte der Vulkanismus ein relativ seltenes Phänomen sein. Aber wenn man in einem heute vulkanlosen Land wie Deutschland oder Frankreich auch nur wenig in der Erdgeschichte zurückgeht, so erkennt man,daß es kaum eine Gegend der Erde gibt, in der nicht Vulkane oder Intrusionen aufgetreten sind. Große Granit-Batholithen bilden die Kerne der Kontinente, die sich in der Urzeit gebildet haben. Später sind gewaltige Räume (Indien, Nord-Schottland, Island) mit Basaltlava überschwemmt worden und andere Gebiete wurden mit Schmelztuff-Decken (Porphyr in

Thüringen und Südafrika) bedeckt, welche aus Glutwolken von Sial-Vulkanen entstanden sind. Gerade die letztgenannte Vulkanart scheint bezüglich ihrer Entstehung etwas sehr Bedeutsames zu lehren. Wir sahen, daß der Aufstieg und die Expansion von Sial-Magma an das Vorhandensein von Granat-Silimanit-Gneis gebunden ist. Nun ist aber Granat ein Mineral der Eklogit-Facies, so daß man fragen kann, ob seine Bildung oberhalb der Conrad-Diskontinuität wegen des geringen Druckes nicht überhaupt rätselhaft ist. Andererseits zeigt wiederum die nur 10 km tief unter dem Pazifik-Boden beginnende Griquaitschicht, daß auch dort einmal der Beginn der Bedingungen für die Eklogit-Facies in jener Tiefe lag. Der Grund für den Magma-Aufstieg liegt aber gerade darin, daß große Mengen von Hochdruck-Mineralien sich schon in Druckbereichen befinden, wo sie eigentlich instabil sind, wie dies oben schon am Beispiel des Ozeanits von Hawaii erörtert wurde. Nur so kann eine geringe Spaltenbildung den Vorgang der großräumigen Magma-Expansion einleiten.

Es ist klar, daß die Hochdruck-Mineralien nur entstehen konnten, als der Druck höher war als bei ihrem Zerfall. Da wir mit erheblichen Verzögerungen bei der Einstellung des jeweiligen chemischen Gleichgewichts durch Kristall-Diffusionen zu rechnen haben, ist es wahrscheinlich, daß die Entstehung der Hochdruckphase unter noch erheblich höheren Drucken erfolgt ist, als sie erforderlich sind, um diese Phase stabil zu halten. Bevor es zur Expansion kommen konnte, mußte also schon eine erhebliche Druckabnahme vorangegangen sein. Dafür spricht auch die geologische Tatsache, daß im Bereich der deutschen Mittelgebirge nach der karbonischen Faltung zunächst im Perm sialische Schmelztuffdecken (Porphyr in Thüringen) entstanden und erst über einhundert Millionen Jahre danach im Tertiär Basaltergüsse, wie etwa der Vogelsberg, folgten. Auch

in Südafrika liegt über einer Porphyrdecke 200 Meter Quarzit, dann folgt basaltähnlicher Diabas und zum Schluß, wiederum nach einer längeren Pause, erfolgte die Intrusion der Kimberlit-Pipes, die aus noch größerer
16) Tiefe kamen (16). Die Druckentlastung hat also sukzessive zur Umwandlung immer tieferer Schichten geführt.

Nun ist bei hydrostatischem Gleichgewicht in der Tiefe T der Druck $p = \int_0^T g\,\varrho(t)dt = g\int_0^T \varrho(t)dt$,

wenn wir die Abhängigkeit von der Tiefe t bei der Erdbeschleunigung g nicht berücksichtigen, was man wohl tun kann, weil sich die Betrachtung immer nur auf die obersten hundert Kilometer bezieht. Nun liegt aber die Hochdruckphase des Diabas erheblich tiefer als die des Porphyrs und außerdem sind inzwischen oberhalb des Porphyrs 200 Meter Quarzit abgelagert worden. Daraus folgt, daß im Moment der jeweiligen Expansion das Integral $\int_0^T \varrho(t)dt$ für Porphyr kleiner war als für Diabas.

Nun beruht aber wahrscheinlich die Expansion beide Male auf der Umwandlung von Granat in Feldspat. Diese Umwandlung dürfte etwa bei gleichem Druck erfolgen. Wenn also die Zone der Umwandlung sukzessive immer tiefer rückt, so ist dies ein Zeichen dafür, daß die Fläche, auf der der Umwandlungsdruck herrscht, ebenfalls immer mehr in die Tiefe wandert. Das bedeutet aber, da wir den Umwandlungsdruck p_o als nahezu konstant betrachten können (Trachyt und ozeanitischer Basalt haben beim Aufstieg fast dieselbe Temperatur von etwa 1150°C), daß $g = \frac{p_o}{\int_0^T \varrho(t)dt}$ abgenommen haben muß, weil die

dauernd zugenommen hat.

Nun ist $g = \frac{M f}{R^2}$, und innerhalb der überblickbaren geologischen Zeiten dürfte M = konstant gesetzt werden. Damit muß der Quotient f/R^2 stark abgenommen haben, was noch paläontologisch wahrscheinlich gemacht wird. Beispielsweise erscheinen die ersten hochbeinigen Tiere kurz nach der explosiven Förderung des Porphyrs in Thüringen, was deutlich zeigt, daß g in der Permzeit ziemlich rasch abnahm. Nach P. JORDAN (17) ist nun zwar eine langsame Abnahme von f zu erwarten, die aber wohl, da das Alter des Universums mindestens sechs Milliarden Jahre beträgt, seit dem Kambrium nur etwa 10 % insgesamt nicht überschreiten konnte. Da aber beim Wandern der Umwandlungszone von der Sialschicht bis tief ins Sima hinein sich viel größere Änderung von g aus der Formel $g = \frac{p_o}{\int_0^{T} \varrho(t)dt}$ ergibt, so folgt, daß

(17)

als Ursache dieser großen Änderung von g nur eine beträchtliche Zunahme von R in Frage kommt. Diese Zunahme von R würde auch ohne weiteres die Bildung der bei der Ozeanit-Bildung besprochenen "abyssalen Spalten" durch Zerreißen der spröden oberen Kruste erklären.

Wir sehen, daß sich aus der Beobachtung der Vulkane der Schluß auf eine lokale Expansion durch Mineralumwandlung ziehen ließ. Als Ursache der Mineralumwandlung ergab sich dann unter Berücksichtigung der Abfolge der Intrusionen in Südafrika und in den deutschen Mittelgebirgen das Bild der fortschreitenden Druckentlastung durch Abnahme von g . Dadurch wurde aber wiederum eine allgemeine Erdexpansion mit erheblicher Zunahme von R wahrscheinlich gemacht. Es erhebt sich die Frage nach dem Verlauf und der Ursache des allgemeinen Expansionsvorganges.

3) Die Bildung von Grabenbrüchen und interkontinentalen Meeren

Wenn sich der Erdradius in erheblichem Maße vergrößert hat, mußte die äußerste spröde Gesteinsschicht zerbrechen und ihre einzelnen Stücke weit auseinander klaffen. Dabei mußten sich Spalten bilden, deren Breite der Zunahme des Erdradius entsprach. Wie schon A. WEGENER erkannt hat, sind der Atlantische Ozean und der Indische Ozean solche erweiterten Spalten, wobei der letztere eigentlich aus zwei Spalten besteht, eine zwischen Afrika und der Malabar-Küste, die andere
(18) zwischen der Koromandel-Küste und West-Australien (18).

Um den Vorgang der Bildung von interkontinentalen Meeren zu verstehen und interessante Einblicke in den Mechanismus der Expansion zu gewinnen, betrachten wir die Entwicklungsgeschichte eines zerbrechenden Kontinents.

a) Der primäre Grabenbruch

(19) Nach WEGENER (19) und A. RITTMANN beginnt die Bildung eines interkontinentalen Meeres mit den Einbrüchen eines Grabens in einer Kontinentalscholle. Dabei besteht zunächst der Boden des Grabens aus Sial, das später immer dünner wird, je weiter der Graben klafft.
(20) H. CLOOS (20) hat nun die Vorgeschichte der Bildung eines solchen Grabenbruches untersucht und dabei gefunden, daß der Kontinent an der Stelle, an der der Graben entsteht, vor dem Einbruch stark aufgewölbt wird. Die Frage nach Ursache und Folgen dieser blasenartigen Aufwölbung ist die Frage nach der primären Genese des Grabenbruches.

Es ist bei der Aufwölbungsphase zunächst die Ursache des Empordrückens der Sialkruste zu klären. Da wir im verkleinerten Ausmaß analoge Vorgänge schon beim Vulkanismus kennen gelernt haben, ist es das

einfachste, anzunehmen, daß auch die Bildung der Aufwölbungen ursächlich in Analogie zur Intrusion eines Bysmalithen erfolgt ist. Dies bedeutet eine Expansion einer tiefliegenden Gesteinsschicht. Nach der Größenordnung der aufgewölbten Gebiete dürften die Zentren der Expansion, die der Bildung eines Grabenbruches oder gar eines interkontinentalen Meeres vorangeht, in Tiefen weit jenseits der Mohorovicic-Grenze liegen. Dabei ist anzunehmen, daß die gewöhnliche Griquait-Schicht passiv emporgehoben wird, weil selbst das expandierte Gestein vermutlich noch dichter als der Griquait ist. Bei großen interkontinentalen Meeren, wo die Länge der Spalten bis zu einem Erdquadranten anwachsen kann, muß man annehmen, daß die Expansion nahe an der Grenze zum äußeren Kern erfolgt, da sie sich nur dann so weiträumig auswirken konnte. Das Expansionszentrum liegt also in Tiefen zwischen 100 km und 2900 km, also weit jenseits des Bereiches, wo sich der Vulkanismus abspielt.

Denken wir uns nun, daß die gesamte Erdrinde von der obersten Sedimentschicht bis zur Griquaitschicht durch die Bildung eines solchen "abyssalen Bysmalithen" aufgewölbt ist, und fragen nach den Folgen der Aufwölbung.

Das Verhalten der einzelnen Schichten hängt natürlich in hohem Maße von der physikalischen Beschaffenheit jeder Schicht ab. In der Erdrinde dürfte es, was die Temperatur anbelangt, mehr auf die Dicke der hangenden Schichten ankommen, als auf die Entfernung vom Erdmittelpunkt, d.h. bei der Aufwölbung werden die Isothermen genau so emporgewölbt wie die Gesteinsschichten selbst. Dennoch bleiben die Unterteile des Sial während der Hebung dauernd so warm, daß dort nach der oben erwähnten Gleichung $H_4Al_2Si_2O_9 \longrightarrow SiO_2 + 2\,H_2O + Al_2SiO_5$ eine wasserhaltige SiO_2-Lösung zwischen den einzelnen festen Mineralkörpern vorhanden ist. Am Rande

der Aufwölbung rutscht infolgedessen das tiefere Sial nach allen Seiten herab, da die Lösung von SiO_2 sich als sehr zähe Flüssigkeit wie etwa Gletschereis verhält. Dadurch entsteht eine Verminderung der Dicke der Schicht des fließfähigen Sial unter dem Gipfel der Aufwölbung. Die obersten Teile des Sial sind wegen ihrer niedrigen Temperatur fest und spröde. Da aber bei der Aufwölbung diese Schichten am meisten auf Dehnung beansprucht werden, kommt es zum Zerbrechen der obersten Sial-Kruste. Infolge der nach außen gerichteten Strömung des tieferen Sial sackt die zerbrochene Oberkruste am Gipfel der Aufwölbung ein, und es bildet sich ein Grabenbruch, dessen Ränder infolge des Fließens der tieferen Schichten immer stärker auseinanderrücken.

Da nun die aufgewölbten Sima-Schichten bis in große Tiefen kristallin sind, weil ihnen der Überschuß an SiO_2 und H_2O fehlt, können sie nicht so schnell auseinanderfließen. Folglich bleibt ihre Aufwölbung länger bestehen als die des Sial. Das Einbrechen des Grabens führt daher zu einer starken Druckentlastung im Sima. Oberhalb der Mohorovicic-Diskontinuität liegen nun nach H. BORCHERT und E. TRÖGER Peridotite, unterhalb Griquait, welch letzterer Jadeit enthält. Es kann nun angenommen werden, daß der Jadeit örtlich in den Peridotit eingedrungen ist. Eine solche Mischung ist aber bei Umschmelzung durch Druckentlastung expansionsfähig:

	$NaAlSi_2O_6$	+ Mg_2SiO_4	= $NaAlSiO_4$	+ 2 $MgSiO_3$
	Jadeit	Olivin	Nephelin	Enstatit
Dichte:	3,2	3,22	2,62	3,18

Bei der Magma-Expansion entsteht also viel leichter Nephelin, der rasch aufsteigt und so den nephelinitischen Vulkanismus der Grabenbrüche (21) veranlaßt. (Es ist bezeichnend, daß in Faltengebirgen kaum nephelinhaltige Vulkanite auftreten, obwohl nach einer

21)

Annahme der Nephelin durch Kalkaufschmelzung entstünde:

$$NaAlSi_3O_8 + 2(Ca,Mg)CO_3 = NaAlSiO_4 + 2(Ca,Mg)SiO_3 + 2CO_2$$

Letztere Genese wäre also bei kalkreichen Sedimenten in den Geosynklinalen naheliegend. Dort aber tritt kaum Nephelin auf!)

b) Die Bildung interkontinentaler Meere aus Grabenbrüchen durch Dehnung des Meeresbodens

Die Umwandlung der Jadeit-Peridotite, welche zur Bildung von Nephelin-Magma führt, kommt natürlich dann zur Ruhe, wenn der Jadeit in der Peridotit-Schicht aufgezehrt ist, da der Olivin aus sich selbst nicht expandieren kann. Daher ist u.a. im Rheingraben der aktive Vulkanismus des Kaiserstuhls erloschen.

Bei größeren Gräben ist die Aufwölbung so stark, daß im Verlauf der Grabenbildung nicht nur die Bildung von Nephelin-Magma in örtlichen Herden der Peridotitschicht das Ergebnis ist, sondern auch die Griquaitschicht mobilisiert wird. Dann bildet sich unter dem ganzen Graben eine Art Schlauch aus flüssigem Ozeanit-Magma, der expandierend die Erdkruste der Grabensohle durchsetzt und auf diese Weise das restliche Sial dort einschmilzt. Diese nunmehr aus Sima bestehende (allerdings durch das eingeschmolzene Sial etwas saurer ge-
(22) wordene) (22) Grabenfüllung dringt im Graben empor und bildet den Mittelrücken des sich bildenden Interkontinentalmeeres. Teilweise quillt dieses normalgabbroide Magma über die Ränder des Grabens hinweg und bildet Basaltplateaus auf den umliegenden Kontinenten (beim Nordatlantik z.B. in Schottland, Staffa, beim Indischen Ozean z.B. der Dekkan-Trapp). Da aber das Sial der Grabenbrüche nicht ausreicht, das Ozeanit-Magma saurer zu machen als Basalt, so ist die neue Grabenfüllung jedenfalls spezifisch schwerer als das Sial der

umliegenden Kontinente.

Nun beweisen aber die Basalt-Decken der Kontinentalränder, daß der Graben in der Phase der Griquait-Umwandlung bis oben hin mit Basaltmagma gefüllt war, dessen Oberfläche an einigen Stellen über das Niveau der Sial-Schollen sich erhob. Der hydrostatische Druck
23) am Fuß der Kontinental-Sockel preßte (23) also das Basalt-Magma auch unter diese hinunter, so daß die Sial-Schollen anstatt auf einer Unterlage von kristallisiertem Sima nunmehr auf einer Schicht flüssigen Basalts lagen, die vom Graben wegströmte. Die Folge ist natürlich ein Auseinanderrücken der Grabenränder durch Kontinentaldrift. Dabei mag auch die Expansion tieferer Erdschichten, die die primäre Aufwölbung vor der Grabenbildung veranlaßte, immer noch weitergehen und so die Verbreiterung der Kontinentalzerspaltung zum interkontinentalen Meer im großen Ausmaß beschleunigen. Das eindringende Meerwasser kühlt nun das Basalt-Magma rasch ab, wobei durch das Absinken abgekühlter Massen sich eine Abkühlung tieferer Schichten einstellt. Ein gewisser Teil des Basalts kristallisiert also wieder als Griquait aus, so daß sich eine neue Mohorovicic-Diskontinuität bildet, die auf dem Niveau einfriert, das dem Wert von g zur Zeit der Bildung des Meeres entspricht. Darüber lagert sich dann normales Sima, das sich in feldspatreiche Gabbro- (oben) und olivinreiche Duzitschichten (unten) aufspaltet. Somit hat sich im interkontinentalen Meer eine neue Sima-Erdkruste gebildet, wobei sich die Dicke der Gesteinsschicht oberhalb der Griquait-Schicht nach dem zur Zeit der Bildung herrschenden g-Wert einstellt. Daher liegt die Mohorovicic-Diskontinuität im Atlantischen Ozean tiefer als im Pazifik, der zu einer früheren Zeit mit höherem g-Wert entstand.

Beim Auseinanderrücken der Kontinente sinkt natürlich der Spiegel der Basaltischen Grabenfüllung, der

bei den Decken-Basalt-Ergüssen bis zum Niveau der Sial-Oberfläche angestiegen war, wieder ab, so daß sich ein richtiger tiefer Ozean bilden konnte. Als letzter Rest der Intrusions-Phase bleibt in der Mitte der Ozeane eine Erhebung zurück (mittelatlantische Schwelle, Kerguelen-Schwelle usw.), die zeigt, daß einmal von innen her Materie emporgedrungen ist und die Kontinente auseinander gedrängt hat.

Nach dem Gesagten ist die Bildung der interkontinentalen Meere darauf zurückzuführen, daß das expandierende Sima die Sial-Schollen durchbricht und sie dann zur Seite schiebt. Dabei dehnen sich die Bodenflächen der neugebildeten Ozeane anfangs rasch aus. Stoßen die zur Seite geschobenen Schollen auf irgendwelche Hindernisse (24), beispielsweise auf einen anderen Kontinent oder auf einen ausgekühlten Sima-Boden eines älteren Ozeans, so werden sie an der Vorderseite emporgestaucht und es entstehen Faltengebirge. Dabei ist aber zu betonen, daß u.a. die Gebirge Neuseelands und Ostaustraliens nicht so gewaltig sind, wie dies der heutigen Entfernung von seinen früheren Nachbarkontinenten Südafrika und Dekkan entsprechen würde, d.h. aber: Die Vergrößerung des Ozeanbeckens geht nicht so sehr auf Kosten des Kontinents, der gegen andere Schollen gepreßt wird, sondern sie ist unter dem Gesichtspunkt einer allgemeinen Vergrößerung der Erd-
(25) oberfläche und damit des Erdvolumens zu betrachten (25).

c) Tektonische Argumente für eine allgemeine Erdexpansion

Man kann natürlich die Frage stellen, ob die aus dem Vulkanismus erschlossene Abnahme von g etwas mit der Bildung der Ozeane zu tun haben kann. Zunächst erscheinen daran noch berechtigte Zweifel möglich, da man in der Struktur der Sial-Schollen häufig Auf-

pressungen findet. Dies hat ja auch früher zu der Ansicht geführt, daß sich die Erde zusammengezogen hätte (E. SUESS (26), H. JEFFREYS (27)). Wenn man aber schon die Grabenbrüche, wie die Oberrheinische Tiefebene, das Tote Meer usw., nach CLOOS nur durch Hebung und Dehnung der Sial-Schollen erklären kann, so versagt die Kontraktions-Theorie völlig, wenn es sich um die Erklärung der Bildung großer Meeresbecken durch Auseinanderziehen der Bruchränder zweier Sial-Schollen handelt. Schon die Entstehung der Hawaii-Inseln, die wir oben besprochen haben, hat aber gezeigt, daß sich infolge der Umgruppierung von Sima-Mineralien zum Teil recht starke Expansionsvorgänge im Sima erwarten lassen. Weiter kann man sagen, daß analoge Vorgänge bei der Ausdehnung der Ozeanböden eine große Rolle spielen.

Die Faltungen der Sial-Schollen lassen sich am besten verstehen, wenn man bedenkt, daß die Umwandlungsvorgänge im Sima nicht durch völlige Gleichartigkeit des Materials synchronisiert sind: Es muß vielmehr angenommen werden, daß es auch in großer Tiefe örtliche Ansammlungen besonders instabiler Mineralien gibt. Außerdem kommt noch folgende Überlegung hinzu:

Selbst wenn a priori alles Material in vollkommen konzentrischen Schalen angeordnet gewesen wäre, hätte die Expansion zunächst Brüche in der äußersten spröden Erdrinde veranlaßt. Es wären also dort zunächst lokal tiefere Schichten freigelegt worden, was zu ihrer Umwandlung in Niederdruck-Mineralien geführt hätte. Das Ergebnis wäre gewesen, daß unter den Schollen der zerrissenen Urkruste sich im Sima mehr Hochdruck-Mineralien erhalten konnten als unter den Zwischenzonen. Bei weiterer Abnahme von g mußte also vorzugsweise das Sima grade unter den Sial-Schollen expandieren, was zu einer Zerreißung dieser Schollen führen mußte. Beim Auseinandertreiben der Fragmente einer Scholle wurden diese gegen die Nachbarschollen gepreßt, was

zur Gebirgsfaltung führte. Außerdem kann die Sima-Fläche eines älteren Ozeanbodens im Laufe der Zeit sehr stark abkühlen, so daß sich eine feste kristalline Basalt- oder Dunit-Scholle bildet. Wenn nun unter einem benachbarten Kontinent eine Expansion einer tieferen Sima-Schicht erfolgt, so kann dies dazu führen, daß der Kontinent auf den Rand der alten ozeanischen Sima-Scholle hinaufgeschoben wird, was dazu führt, daß unmittelbar am Kontinentalrand der alte Sima-Boden nach unten gedrückt wird (Saumtiefe, z.B. Japangraben,
(28) Philippinengraben und Atacamagraben) (28). Bei diesem Hinaufschieben von Sial auf Sima wird nun auch der Kontinentalrand stark gefaltet (Anden, Japanische Gebirgsketten, Kamtschatka usw.). Das expandierende subkontinentale Sima dringt dabei ebenfalls auf die alte ozeanische Scholle hinauf, wobei sich am Rand bis in 700 km Tiefe Verwerfungen bilden, die gegen den Kontinent einfallen. Diese Verwerfungen sind die Ursache zahlreicher Erdbeben, die das Hinaufschieben der sub-
(29) kontinentalen Massen begleiten (29). Eine weitere Bestätigung dieses Herganges bildet die Tatsache, daß Nord-Amerika, welches bei der Bildung der Rocky Mountains auf den Boden des Pazifiks hinaufgeschoben wurde, eine geothermische Tiefenstufe von 41,8 m pro Grad Celsius besitzt, während sie in Europa nur 31,7 m pro Grad Celsius beträgt. Mit anderen Worten: Unter Nord-Amerika ist es weniger heiß als in Europa. Zu
(30) dieser Feststellung schrieb R.A. DALY (30): "Eine ausreichende Erklärung hierfür kann man in dem vergleichsweise rezenten Hinweggleiten Nord-Amerikas über die gesunkene Kruste des ehemals größeren pazifischen Beckens finden".

Die Öffnung des Nord-Atlantik in geologisch sehr junger Zeit ist insofern recht instruktiv, als sie neuerdings Einblicke in den Zusammenhang zwischen Kontinentalverschiebung und Deformation der Erde im gan-

zen gestattet.

Auf Grund des Endmoränen-Verlaufs der diluvialen Eiszeit in Europa und Nord-Amerika schloß Alfred
(31) WEGENER (31), daß zu dieser Zeit Nord-Europa, Grönland und Kanada eng zusammen lagen. Nimmt man an, daß die Trennung Süd-Grönlands von Nord-Schottland vor etwa 100000 Jahren erfolgt ist, so kommt man zu einer Drift-Geschwindigkeit von 18 m pro Jahr. Tatsächlich fand WEGENER beim Vergleich älterer und jüngerer Längenbestimmungen von Grönland, daß sich diese Scholle tat-
(32) sächlich mit 20 - 30 m pro Jahr (32) relativ zu Greenwich nach Westen bewegte. Diese Bewegung ist die stärkste Kontinentaldrift, die auf der Erde nachgewiesen werden konnte. Die Ursache dieser starken Bewegung müßte also nach der oben besprochenen Theorie in einer Aufwölbung des Erdkörpers im Gebiet des Nord-Atlantik zu suchen sein. Nun hat tatsächlich die Be-
(33) obachtung der Bahn von Vanguard I (1958 $_2$) (33) ergeben, daß die Erde im Nordpolargebiet eine großräumige Aufwölbung von 15 m Höhe besitzt. Bei solchen Deformationen kann es sich nur um - geologisch gesehen - kurzlebige Erscheinungen handeln, da sie, wie
(34) SCHWEYDAR (34) schon 1921 meinte, auseinander fließen müßten, um unter Kontinentalverschiebung das normale Rotationsellipsoid wieder herzustellen. Dabei kommt noch erleichternd hinzu, daß vermutlich unter dem Nordatlantik ein großer Herd basaltischen Magmas existiert, der auf Island rezente Flächen-Ergüsse (z.B. die Eruptionen der Laki-Spalte 1783) veranlaßt hat. Dieser Magmaherd könnte sich bis nach Grönland erstrecken und dort im Sinne der eben beschriebenen Vorgänge als Schmiermittel wirken. Wir sehen somit, daß bei Zusammenfassung aller bekannten Verhältnisse sich die rasche Bewegung Grönlands zweifellos erklären läßt.

Oben wurde ausgeführt, daß im Verlauf der Erdexpansion die Gebiete der stärksten Expansion öfter

gewechselt haben. Auch dafür bietet Grönland ein hervorragendes Beispiel. Während sich heute Grönland rasch von der finnisch-russischen Scholle entfernt, wurden Grönland und der kanadische Schild zur Silur- und Unter-Devonzeit (vor 400 Millionen Jahren) stark gegen eben diese Scholle gepreßt. Dabei wurden die Sedimente eines alten Meeres, das etwa dem Nord-Atlantik entsprach, aufgefaltet, und es entstanden die Gebirge Norwegens, Schottlands und die Kanadischen Appalachen. Dieser Bewegung entsprach vermutlich eine Sima-Expansion unter dem Nord-Pazifik.

Die Frage nach dem Alter des Pazifik wurde kürzlich durch seismische Untersuchungen der Sedimentdicke auf seinem Grunde dahin geklärt, daß dieses Alter größenordnungsmäßig einige hundert Millionen Jahre be-
(35) trägt (35). Der Pazifik ist also nicht die Narbe der Mondablösung, was nur möglich wäre, wenn man die Entstehung dieses Meeres in die Zeit zurückverlegt, als das Erdinnere noch durchweg flüssig war. Diese Zeit liegt aber einige Milliarden Jahre zurück. Wenn nun der Pazifik sehr viel jünger ist, so folgt daraus, daß er auch ein normales Interkontinental-Meer ist, dessen Besonderheiten auf sein hohes Alter zurückgehen. Diese Feststellung stimmt mit der vermutlichen Ursache der Entstehung des Kaledonischen Gebirges (Norwegen - Schottland - Appalachen) zur Silur- und Devonzeit überein. Außerdem gibt es im Gondwanaland, dem alten großen
(36) Südkontinent, Faltungen hohen Alters (36), die vermutlich ebenfalls mit der Entstehung des Pazifik zusammenhängen. Sehr wahrscheinlich ist danach, daß sich die Unterschiede zwischen dem Pazifik und den anderen Ozeanen (z.B. im Bau der Küsten) nur daraus erklären, daß der Pazifik älter ist.

Die Tatsache, daß damit alle Ozeane durch das Expandieren großer subkrustaler Sima-Massen entstanden sind, ist der beste Beweis, daß im Verlauf der Erdge-

schichte das Volumen der Erde und damit auch der Erdradius immer monoton zugenommen hat. Diese Feststellung stimmt gut damit überein, daß wir zur Erklärung des Vulkanismus eine Abnahme von g postuliert haben. Es ist nämlich $g = M f / R^2$, woraus folgt, daß, wenn M konstant ist und f sich nur sehr langsam ändert, g abnehmen muß, wenn R wächst. Zwar sind mit dieser Feststellung die beiden Teile der bisherigen Untersuchung zur Übereinstimmung gebracht, aber nun erhebt sich die Frage nach der Ursache der Zunahme von R.

4) Physikalische Grundlagen der Erdexpansion

a) Die Hypothese von DIRAC

Wenn man sich über die Ursachen der Erdexpansion Klarheit verschaffen will, muß man den Zustand vor der Erdexpansion betrachten. Schon bei der Besprechung des Vulkanismus hat es sich gezeigt, daß ein labiler Zustand vorhanden ist, wenn man durch Abkühlung einer Substanz, die sich unter hohem Druck im inneren Gleichgewicht befand, dieses Hochdruck-Gleichgewicht einfriert, indem man die Beweglichkeit der Atome einschränkt und dann den Druck von der eingefrorenen Hochdruck-Phase wegnimmt. Das Ergebnis ist dann ein metastabiler Zustand eines äußerlich energiearmen Gesteins, der allerdings innerlich starke Spannungen enthält, die aber erst bei der Anatexis (Aufschmelzung) frei werden.

Betrachtet man die Erdexpansion unter diesem Gesichtswinkel, so folgt, daß bei der Erstarrung der Erde einschließlich des festen Erdmantels die Verfestigung dieser Schichten unter einem sehr viel höheren Druck erfolgt sein muß, als heute auf ihnen lastet. Von diesem Punkt ab hat dann der Druck abgenommen, wobei allerdings nach dem Motto: "Corpora non agunt nisi fluida", die Mineralien der Hochdruck-Phasen erhalten blieben. Die Erde wäre danach ein äußerlich festes, aber von

inneren Spannungen erfülltes Gebilde - etwa vergleichbar einem Bologneser Fläschchen -. Die Fähigkeit der Gesteine, diese inneren Spannungen zu speichern, ist natürlich bei der Temperatur des Erdinnern, die in 100 km Tiefe weit über 1000°C betragen muß und nach unten wahrscheinlich noch höher ansteigt, nur begrenzt. Eines Tages muß es zur Phasenumwandlung und damit zur Expansion eines Gesteinkomplexes kommen, was dann das Zusammenspiel von Hebung, Grabenbildung usw. bis zur Ozeanentstehung auslöst. Dieses Bild, das der ungarische Geologe L. EGYED (37) entworfen hat, gibt zwar plausibel die Zerreißung des Sial wieder, erfordert aber die Hypothese, daß bei der Erstarrung des Erdmantels dort der Druck höher war als heute.

Da aber eine glutflüssige Urerde wahrscheinlich eine geringere Dichte hatte, so kann man für die äußeren Schichten einen größeren Abstand vom Erdmittelpunkt annehmen als er heute ist. Es kann weiter angenommen werden, daß die Verluste an Gasen, die die Urerde erlitten hat, bei Beginn der Erstarrung im wesentlichen beendet waren und daß der Druck an der Basis der Pneumatosphäre für die tieferen Mantelschichten kaum eine Bedeutung hatte, da das meiste Material dieser Dampfhülle heute als Sial bezw. als Ozeanwasser noch vorhanden ist (38).

Die Mächtigkeit der Schichten von der äußeren Begrenzung der Pneumatosphäre bis zur Ansammlung der ersten festen Kristalle, welche im Magma schwebten, sei $T \ll R$, da wir annehmen müssen, daß die Bildungen jadeit- und granathaltiger Mineralien ursprünglich schon nahe unter der Oberfläche der Lithosphäre einsetzten, weil sonst der lebhafte Vulkanismus in den älteren Formationen nicht nach der oben geschilderten Vulkantheorie erklärbar wäre. Ist nun P_o der Druck, unter dem sich die Hochdruck-Mineralien zuerst aus dem Magma abscheiden, so ist unter der oben genannten Voraussetzung

$P_o = \frac{M f}{R^2} \int_0^T$ (t)dt, wobei f die Gravitations-"Konstante" und t die Tiefe der Schicht, von der Obergrenze der Atmosphäre gerechnet, ist. Der Vulkanismus und die Erdexpansion im allgemeinen zeigen nun, daß bei der ersten Erstarrung der Erde $\int_0^{T_1} \int$ (t)dt viel kleiner gewesen sein muß als die Materialmenge, die heute über der Hochdruckphase liegt, weil damals vieles, was heute im Niederdruck-Zustand angetroffen wird, sich erst im Laufe der Erdgeschichte aus der Hochdruck-Phase entwickelt hat. Da wir angenommen haben, daß während der Erstarrung einmal R etwa den heutigen Wert hatte und dasselbe für M gilt, so folgt, daß f damals größer gewesen sein muß als heute, denn P_o ist nur von den molekularen Eigenschaften der Materie abhängig.

Wir werden also zu der Annahme geführt, daß die Gravitations-Konstante f zur Zeit der Erstarrung der Erde größer war als heute. DIRAC und JORDAN haben zuerst diesen Gedanken gehabt, und zwar unabhängig von
(39) geologischen Betrachtungen (39). Ihre Überlegung war folgende:
Die elektrische Anziehung von Elektron und Proton im H-Atom ist $K_e = e^2 / r^2$. Die Gravitations-Anziehung der beiden Teilchen ist aber $K_g = m_p m_e f / r^2$. Es ist also $K_e / K_g = \frac{e^2}{m_p m_e f}$

$$= \frac{(4{,}8 \cdot 10^{-10})^2}{1{,}67 \cdot 10^{-24} \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-28} \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-8}} = \frac{4{,}8^2 \cdot 10^{40}}{1{,}67 \cdot 9{,}1 \cdot 6{,}7}$$

$= 0{,}226 \cdot 10^{40}$ eine reine Zahl, die von r unabhängig ist.

Nun ist die elektrische Anziehung für das atomare Geschehen, die Gravitations-Anziehung für das kos-

mische Geschehen maßgeblich. Es ist also nicht zu verwundern, daß beim Verhältnis kosmischer und atomarer Größen meist Zahlen auftreten, die mit den Quotienten K_e/K_g in einfacher Weise zusammenhängen. So ist z.B. der Ausdruck $m_p \cdot (K_e/K_g)^{3/2} = 1{,}67 \cdot 10^{-24} \cdot 0{,}10744 \cdot 10^{60} = 0{,}1794248 \cdot 10^{36}$ gr $= 1{,}794248 \cdot 10^{35}$ gr = etwa 90 Sonnenmassen; das ist aber die größte Masse eines jungen blauen Riesensterns oder die Masse einer kleinen O-Assoziation.

Um nun die oben erwähnte Änderung von f zu berechnen, legen wir das aus dem Hubble-Effekt (Auseinanderfliegen der Spiralnebel) extrapolierte Weltalter A = etwa 10^{10} Jahre zugrunde. Da ein Jahr $3{,}15 \cdot 10^7$ Sekunden hat, so ist A etwa gleich $3 \cdot 10^{17}$ Sekunden. Wir müssen nun A in einer atomaren Zeiteinheit ausdrücken. Der Radius eines Elektrons ist $\frac{e^2}{m_e \cdot c^2} =$ $2{,}8 \cdot 10^{-13}$ cm etwa gleich der zweifachen Reichweite der Kernkräfte. Legen wir nun die Reichweite der Kernkräfte gleich $\frac{e^2}{2\, m_e \cdot c^2}$ zugrunde, so haben wir eine Längeneinheit $L = \frac{e^2}{2\, m_e \cdot c^2} = 1{,}4 \cdot 10^{-13}$ cm. Um eine Zeiteinheit zu bekommen, dividieren wir die Längeneinheit durch die Lichtgeschwindigkeit $c = 3{,}10^{10}$ cm/sec. Wir erhalten dann $\tau = \frac{L}{c} = 0{,}47 \cdot 10^{-23}$ sec. und damit $\frac{A}{\tau} \approx 6{,}5 \cdot 10^{40} \approx 30\, K_e/K_g$. Setzen wir nun definitionsmäßig $A = 30 \tau\, K_e/K_g$ fest, so erhalten wir mit

$$\tau = \frac{L}{c} = \frac{e^2}{2\, m_e\, c^3} \quad \text{und} \quad K_e/K_g = \frac{e^2}{m_p \cdot m_e \cdot f},$$

folglich $A = \frac{15\, e^4}{m_p\, m_e^2\, c^3\, f}$ oder $f = \frac{15\, e^4}{m_p\, m_e^2\, c^3\, A}$.

Da e, c, m_e und m_p atomare Konstanten sind, so ist

$f \backsim \text{konst}/A$.

Die letztere Formel wird als DIRAC'sche Hypothese bezeichnet. Sie stimmt gut mit dem überein, was wir bei der Betrachtung der Erde zur Zeit der Krustenbildung annehmen mußten. Da A gegenwärtig etwa gleich 10
(40) Milliarden Jahre ist (40), war vor 3 Milliarden Jahren, als die Erdkruste erstarrte, A = 7 Milliarden Jahre, und damit betrug $f = \frac{6,7 \cdot 10^{-8}}{0,7} = 9,57 \cdot 10^{-8}$ cm^3 gr^{-1} sec^{-2} gegenüber dem heutigen Wert $f = 6,7 \cdot 10^{-8}$ cm^3 gr^{-1} sec^{-2}. Bei der großen Unsicherheit, die sich neuerdings in kosmologischen Dingen eingestellt hat, ist allerdings durchaus eine neue Festlegung von A möglich. Insbesondere zeigen Überlegungen über die Auswirkung der DIRAC'schen Hypothese auf die Sternent-
(41) wicklung (41), daß bei der Altersbestimmung der Welt aus den Farb-Helligkeits-Diagrammen von Sternhaufen infolge der Änderung von f eine Überschätzung des Alters der Haufen möglich ist. Wenn aber $A < 10^{10}$ Jahre wäre, so würde daraus folgen, daß vor 3 Milliarden Jahren $f > 9,57 \cdot 10^{-8}$ cm^3 gr^{-1} sec^{-2} gewesen wäre, was eine noch stärkere Verdichtung der Urerde bewirkt hätte. Wir wollen nun prüfen, welche Folgen ein höherer Wert von f bei der Krustenbildung auf das tiefere Erdinnere haben mußte.

b) Der Zustand des Erdinnern

Eine, infolge der hohen Temperatur, noch etwa bis zur heutigen Ausdehnung aufgeblähte Magma-Masse, die im Inneren noch nicht vollkommen die leichten Gase (H, He) verloren hatte, mag als Urzustand der
(42) Erde (42) gelten. Dabei ist zu bemerken, daß durch den höheren Wert von f das Entweichen dieser Gase noch mehr behindert wurde.

Durch Ausstrahlung kühlte sich das Magma an der Oberfläche ab und es bildeten sich z.B. Olivin-Kristalle, die absanken und in der Tiefe wieder aufgeschmolzen wurden. Dabei entzogen sie dem Tiefen-Magma soviel Wärme, daß es ebenfalls zu kristallisieren begann, aber wegen des hohen Druckes nicht als Olivin sondern als Granat, Omphazit usw. führte zu einer Volumen-Verkleinerung der Erde, also auch zu einer Verringerung von R. Nun ist aber an der Erdoberfläche $g = M f/R^2$. Wenn also R kleiner wurde, mußte g größer werden, d.h. auch der Druck mußte nach innen stärker anwachsen, denn

1) war f damals größer als heute
2) erhöhte die Verkleinerung von R den Wert von g
3) wurde die Mächtigkeit der über einer festen Schicht stehenden Magma-Säule erhöht, weil die Oberfläche abnahm und
4) war wegen $|\nabla p| = \varrho \cdot g$ die Druckzunahme innerhalb der Hochdruck-Phase noch stärker als im Ozeanit-Magma der Urerde selbst.

Dies mußte dazu führen, daß innerhalb des tieferen Erdinnern sich weitere Umwandlungen vollzogen. Beispielsweise kristallisierte der Kohlenstoff dort nur in Form von Diamanten aus, die eine Dichte von 3,52 haben und daher nicht allzuoft in die äußeren Erdschichten (Dichte $\leq$ 3,0) gelangen konnten. Das hohe spezifische Gewicht von Diamant mag auch für die Tatsache verantwortlich sein, daß der Kohlenstoff in den äußeren Erdschichten nur den 295sten Teil der Häufigkeit (gewichtsmäßig) von Silizium hat, während auf der Sonne und anderen Sternen C und Si meist etwa gleich
(43) häufig sind, wobei C sogar etwas überwiegt (43). Es könnte also sein, daß in großer Tiefe der Erdmantel Diamant als gesteinsbildenden Gemengteil enthält. Da dort, wo diese Gesteine auftreten, die Temperatur schon

recht hoch ist, so dürfte bei langsamer Druckentlastung die Umwandlung des Diamanten in Graphit erfolgen, welch letzterer die Dichte 2,2 hat. Die Ausdehnung bei dieser Umwandlung beträgt 3,52/2,2 = 1,6, was eine sehr große Wirkung ausüben muß, da die Bildung von Ozeanit aus Griquait nur einen Ausdehnungsfaktor von 1,18 liefert, wie wir oben gesehen haben. In der Eklogit-Fazies treten nun auch Ferri-Silikate auf, z.B. $NaFe(SiO_3)_2$ = Aegirin oder $Ca_3Fe_2\ Si_3O_{12}$ = Andradit. Beide können nun den Diamant oxydieren, wobei Carbonate gebildet werden. Eine solche Umwandlung wäre beispielsweise (Dichtewerte nach P. NIGGLI)

$$4\ NaFe(SiO_3)_2 + 2\ Mg_3Al_2Si_3O_{12} + C + CaMg(SiO_3)_2$$

Aegirin — Pyrop — Diamant — Diopsid

Dichte: 3,3 — 3,51 — 3,52 — 3,27

$$= CaCO_3 + 4\ NaAlSiO_4 + Mg_2SiO_4 + 4\ FeSiO_3 + 5\ MgSiO_3$$

Calzit — Nephelin — Olivin — Hyporstenaugit

Dichte: 2,7 — 2,62 — 3,22 — 3,3 bis 3,5

oder

$$2\ Ca_3Fe_2Si_3O_{12} + C + 2\ Mg_3Al_2Si_3O_{12} + 3\ MgSiO_3$$

Andradit — Diamant — Pyrop — Klino-Enstatit

Dichte: 3,75 — 3,52 — 3,51 — 3,28

$$= CaCo_3 + 3\ CaMg(SiO_3)_2 + 2\ CaAl_2Si_2O_8 + 2\ FeSiO_4 + 3\ Mg_2SiO_4$$

Calzit — Diopsid — Anorthit — Olivin

Dichte: 2,7 — 3,27 — 2,75 — 3,5

Wir sehen also, daß schon winzige Mengen Diamant durch die Reduktion der Ferri-Ionen im Andradit oder Aegirin große Mengen leichterer Verbindungen wie Calzit,

Nephelin oder Anorthit liefern können. Außerdem dürfte bei der Oxydation von C eine beträchtliche thermische Ausdehnung hinzukommen. Es ist nun bemerkenswert, daß die plutonische Fazies der Intrusionen in den Grabenbrüchen magmatisch auskristallisierten Calzit enthält (44). Diese Carbonatite sind für den Grabenvulkanismus typisch und treten in Orogenen kaum auf. Der letztere Umstand zeigt deutlich, daß die Kohlensäure nicht in erster Linie aus der Aufschmelzung von Kalksedimenten stammen kann, da diese ja in Orogenen häufig sind. Da außerdem die Griquaite in den Pipes mit Diamanten zusammen vorkommen und im Verhältnis zu den expandierten Ozeaniten etwa den doppelten Anteil an Ferri-Ionen (45) enthalten, dürfte die vorgeschlagene Deutung der Bildung von Carbonatit-Magma wohl als wahrscheinlich gelten können. Die Explosionen, welche die Bildung der Pipes veranlaßten, haben Substanzproben aus sehr großer Tiefe so rasch an die Oberfläche befördert, daß teilweise noch die unter Oberflächenbedingungen ganz unverständlichen Mineralkombinationen (Diamant + Aegirin würden bei Magmatemperatur und einer Atmosphäre Druck sicher miteinander reagieren!) in eingefrorener Form erhalten geblieben sind.

Die Reaktionen, welche wir jetzt besprochen haben, dürften wohl mit mehr oder minder großer Intensität bei der Aufwölbung und dem Zerbrechen einzelner Kontinental-Schollen eine Rolle spielen. Da nämlich der Diamant bei der Temperatur des Erdinnern erst in großer Tiefe auftreten kann, bedeutet die Umwandlung einer Diamanteinlagerung und die Bildung von Carbonatit-Magma aus Mangel an Durchbruchmöglichkeiten eine Anhebung des Hangenden, die die besprochenen Folgen hat.

Am Rande des Erdkerns dürften weiterhin Sulfide und Silikate mit der eisenreichen Metallschmelze rangieren, wobei sich bei Druckentlastung Volumenzunahme ergibt. Solche Reaktionen sind:

$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ + Fe = 3 $CaFeSiO_4$ mit einer Volumenzunahme von 11,6 % und FeS_2 + Fe = 2 FeS mit einer Volumenzunahme von 17,6 %. Weiterhin ist die Feststellung bemerkenswert, daß D.S. HUGHES und R.G. McQUEEN bei Gabbro (oder ähnlichem im Magma-Zustand?) in 400 km Tiefe eine
(46) Dichtezunahme von 3,5 auf 4,0 festgestellt haben (46), welche auch in der Erde als seismische Diskontinuität auftritt.

All dies deutet darauf hin, daß bei größeren f-Werten der Erdmantel dünner war, aber dieselbe Masse enthielt. Folglich mußte der Erdradius kleiner gewesen sein. Das bedeutet aber, daß noch über den damals noch höheren f-Wert hinaus eine Erhöhung von g an der Erdoberfläche zustande kam. Nun mag aber, abgesehen von der geringen Eisenaufnahme an der Obergrenze des Erdkerns, die Masse der Silikathülle konstant geblieben sein, woraus folgen würde, daß der Druck am äußeren Erdkernrand damals auch höher war. Wenn wir nun unter Hintenansetzung der Hypothesen über die Natur der Kernsubstanz den Übergang zum inneren Kern als Phasenänderung in chemisch-homogener Materie betrachten, so wird durch eine Druckerhöhung die Phase des inneren Kerns begünstigt, d.h. die Materie des Kerns wird dann hauptsächlich im Zustand des inneren Kerns auftreten. Im extremen Fall hätten wir dann den Zustand gehabt, daß der ganze Kern aus der Phase des heutigen inneren Kerns bestanden hätte. Nach E. DAVID
(47) (47) würde das eine Abnahme des Kernvolumens um etwa 30 % bedeuten, was wiederum den Erdradius um etwa (grob geschätzt) 1000 km verringern würde. Wir müssen also für die Urzeit der Erde mit einem Erdradius von höchstens 5000 km (heutiger Radius 6377 km) rechnen. Bei dieser Abschätzung könnte es scheinen, als ob die Bildung der großen Interkontinental-Meere unmöglich gewesen wäre. Aber die auseinander rückenden Kontinente haben durch Stauchung ihr Sial-Areal verkleinert

und die Hebung der Sial-Schollen, welche die Aufspaltung veranlaßte, war durchaus ein lokaler Vorgang, der zwar örtlich eine starke Expansion voraussetzt, die Erde als ganzes aber nur wenig vergrößert hat. Außerdem liegt es durchaus im Bereich der Möglichkeiten, daß sich in der Urzeit die Dichte der Erdmaterie noch mehr vergrößert hatte, etwa dadurch, daß die Kontraktion des Kerns g wiederum so erhöhte, daß der Mantel noch stärker komprimiert wurde.

Wir haben gesehen, daß bei der Erstarrung der Erde der damals vergrößerte Wert von f eine vermehrte Bildung dichter Mineralien veranlaßt hat und daß dadurch der ganze Erdkörper verkleinert wurde. Durch die hohe Zähigkeit der durchgehend festen Erde vermochte sich der komprimierte Zustand auch bei der folgenden Abnahme von f zu erhalten, was allerdings zu inneren Spannungen führen mußte. Wenn diese Spannungen groß genug wurden, bildeten sich Brüche, welche örtlich auch zur Magma-Mobilisierung und damit zur Bildung von Vulkanen einerseits und zu Kontinentalverschiebungen andererseits führten. Wir haben damit zu rechnen, daß alle diese Vorgänge, die wir heute noch beobachten, darauf beruhen, daß der Wert des Erdradius nicht im selben Maß zugenommen hat wie f abnahm, sondern daß bei der Erdexpansion durch innere Spannungen eine gewisse Verzögerung auftrat, so daß auch heute noch kein volles hydrostatisches Gleichgewicht herrscht. Dadurch wird aber die Frage erschwert, ob beispielsweise der Kern wirklich aus Nife besteht, da der Druck im äußeren Rand des Kerns nicht nur durch das Gewicht der auflagernden Gesteinsmassen, sondern auch durch ihre inneren Spannungen bestimmt wird. Es ist daher schwer zu sagen, welche inneren Zustände sich bei völliger Entspannung der Erdmaterie einstellen würden. Immerhin zeigt der Planet Mars, daß ein kleinerer Körper, der daher auch bei größeren f-Werten nicht so dicht komprimiert war

wie die Erde, bei gleicher chemischer Zusammensetzung eine Dichte von 3,9 hat (Dichte der Erde 5,51). Wir sehen daraus, daß die Erdmaterie noch relativ stark komprimiert sein muß. Wir sind also mit der Erde noch weit von der vollen Entspannung entfernt, die beim Mars bereits eingetreten zu sein scheint, worauf K. von
(48) BÜLOW (48) hingewiesen hat.

5) Schlußbemerkungen

Wenn wir nun voraussetzen, daß f im Sinne der DIRAC'schen Hypothese allgemein abgenommen hat, so sind auf allen planetarischen Weltkörpern, die hinreichend groß sind, Vulkanismus und Kontinentalverschiebung als Folgen einer allgemeinen Expansion der zuerst in komprimiertem Zustand erstarrten Innenschichten zu erwarten. Nach K. von BÜLOW zeigen Mond und Mars Systeme von
(49) Rissen in ihren Silikathüllen, die von DICKE (49) und JORDAN analog den irdischen Grabenbrüchen und Interkontinental-Meeren gedeutet werden. Die Expansion des Mondes dürfte aber wegen der infolge seiner Kleinheit geringen primären Kompression nur recht bescheiden gewesen sein. Daher kommt eine Erklärung der Mondkrater durch Analogien zum heutigen basaltischen Vulkanismus der Erde wohl kaum in Frage. Wenn es sich um Vulkane handeln sollte, wäre wohl hauptsächlich an Gasausbrüche zu denken. Die Brüche in der Marsrinde sind unter den Namen Kanäle und Meere bekannt, obwohl sie sicher nicht mit Wasser ausgefüllt sind. Sie gleichen in ihrer Struktur am ehesten den ostafrikanischen und arabischen Bruchsystemen, wie ein Vergleich von Marszeich-
(50) nungen mit einer Tiros-Aufnahme (50) vom Roten Meer zeigt.

Bei größeren Planeten ist wegen der zunehmenden Dicke der Atmosphäre und der darin auftretenden Trübungen kaum noch eine genauere Beobachtung der festen Oberfläche möglich. Wir wissen nichts über die

Oberfläche der Venus. Ebenso wenig über die beiden Planeten, die an Masse die nächsten auf die Erde folgenden sind, Uranus und Neptun, die außerdem noch wegen ihrer großen Entfernung kaum genau zu beobachten sind. Beim Saturn deuten gelegentlich auftretende weiße Flecke möglicherweise auf eine zeitweise stär-
(51) kere Eruptionstätigkeit im Innern hin (51).

(52) Desgleichen hat Jupiter nach E. SCHÖNBERG (52) recht kräftige Vulkantätigkeit, die sogar zur Hauptsache die atmosphärische Zirkulation unterhalten soll. Auch der rote Fleck ist wahrscheinlich als Eruptions-
(53) masse zu betrachten (WHIPPLE) (53). Interessant ist, daß der große rote Fleck bei etwa 10 m Wellenlänge
(54) starke Radio-Impulse aussendet (54). Diese rühren ent-
(55) weder von Gewitter-Entladungen (55) her, wie sie auch für irdische Eruptionswolken charakteristisch sind
(56) (56), oder die Strahlung wird durch Plasma-Schwingungen
(57) in der Jupiter-Ionosphäre erzeugt (57), die durch Druckwellen von Explosionen in tieferen Schichten hervorgerufen werden. Für solche Explosionen wie auch für das zeitweise Ausbleichen des roten Flecks ist wohl der Zerfall einer für den Jupiter typischen Hochdruck-Verbindung $Ca(NH_3)_6$ verantwortlich zu machen
(58) (R. WILDT) (58):

$$\underset{\text{rote Substanz}}{Ca(NH_3)_6} = H_2 + 4\,NH_3 + \underset{\text{weiße Substanz}}{Ca(NH_2)_2}$$

Bei dieser Reaktion ist es bemerkenswert, daß ähnlich wie bei der Mobilisation saurer Magmen im Erdinnern große Gasmengen frei werden, so daß die ausgelösten Explosionen stark genug sind, um Radio-Wellen zu erzeugen. Da man von der Venus ähnliche Radio-Impulse aufgefangen hat, kann man auf diesem, allerdings sehr indirektem Wege auf einen gewissen Vulkanismus für die Venus schließen.

Die Vermutung, daß es sich beim irdischen Vulkanismus hauptsächlich um den Zerfall von Granat-Molekülen handelt, ist neuerdings dadurch bestätigt worden, daß man im Porphyr des Saarlandes Fragmente (59) alter Granat-Kristalle gefunden hat (59).

L I T E R A T U R - N A C H W E I S

1) FERSMANN, A.	Geochemische Migration der Elemente, Teil I (1929)
siehe auch WOLFF, v.,F.	Der Vulkanismus Bd.I S. 221 ff und 233 (1914)
2) CLOOS, H.	Gespräch mit der Erde (Kapitel Granit), dort auch weitere Literatur-Nachweise im Anhang
3) RITTMANN,A.	Vulkane und ihre Tätigkeit 2.Aufl. S. 148 (1960)
4) derselbe	S. 51
5) derselbe	S. 34
6) SCHOTT, G.	Geographie des Indischen und Stillen Ozeans S. 78 (1934)
7) JORDAN, P.	Abhandlung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Math.Naturw.Klasse Nr.9: Die Bedeutung der Dirac'schen Hypothese für die Geophysik (1959)
8) RITTMANN, A.	S. 306
9) NIGGLI, P.	Lehrbuch der Mineralogie 2.Aufl. Teil 3 S. 263 (1957)
10) BORCHERT, H. und TRÖGER, E.	Gerland Bd. 62 Tabelle S. 119
11) dieselben	daselbst S. 108 bis 110
12) RITTMANN, A.	S. 120
13) D'Aus, J. und LAX, E.	Taschenbuch der Chemiker und Physiker Dichtetabelle (1949)
14) lec. cit.Nr. 10	S. 105
15) RITTMANN, A.	S. 225 und 237
16) BÜLOW, v., K.	Geologie für Jedermann S. 150
17) JORDAN, P.	Die Herkunft der Sterne S. 18 (1947)
18) WEGENER, A.	Die Entstehung der Kontinente und Ozeane S. 18 (1920)
19) derselbe	S. 189

20) CLOOS, H. Hebung, Spaltung, Vulkanismus Geolog. Rundschau (1939)

21) RITTMANN, A. S. 290

22) siehe Anmerkung 10, Spalte 4

23) Analogie zu Flankenausbrüchen nach A. RITTMANN, S. 261

24) loc. cit. Nr. 18 S. 10, 86, 191

25) KEINDL, J. Zeitschr. f. Geomorphologie Bd. 9 S. 169 (1938)

26) loc. cit. Nr. 18 S. 9

27) JEFFREYS, H. The Earth, Cambridge (1924)

28) loc. cit. Nr. 18 S. 219

29) loc. cit. Nr. 7 S. 9

30) DALY,R.A. American Journal of Science Bd. V Mai 1923 S. 349 bis 377

31) loc. cit. Nr. 18 S. 78

32) loc. cit. Nr. 18 S. 27 und 29

33) HAGEN, J.P. Raketentechnik und Raumfahrtforschung Bd. 3 S. 92

34) loc. cit. Nr. 18 S. 182 f

35) Bericht der "WELT" über die Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte 1960, Ausgabe der "WELT" v. 1.10.1960

36) loc. cit. Nr. 18 S. 88, 209

37) Geologische Rundschau 46, S. 108 (1959)

38) RITTMANN, A. S. 303 ff

39) JORDAN, P. Die Herkunft der Sterne Kap. 1 (1947)

40) SCHMEIDLER, F. Physikalische Blätter 16 S. 361 (1960)

41) JORDAN, P. Schwerkraft und Weltall S. 235 (1955)

42) RITTMANN, A. S. 302

43) TRAVING, G. Zeitschrift für Astrophysik Bd. 36 S. 39 (1955)

ALLER, L.H. Internat. Astrophysik Kolloquium Lüttich 1953 S. 353

44) RITTMANN, A. S. 290

45) loc. cit. Nr. 10 S. 119

46) HUGHES, D.S. und McQUEEN, R.G. Transact. Amer.Geophys.Union 39, S. 959 (1958), siehe auch LUCKE, O.,Physikal.Blätter 15,S.495(1959)

47) DAVID, E. Zeitschrift für Geophysik Bd. 25 S. 239 ff (1959)

48) BÜLOW, v., K. Raketentechnik und Raumfahrtforschung 4, S. 96 (1960)

49) DICKE, R.H. Review of Modern Physics 29 S. 358 (1957)

50) KAYSER, L.T. wie Nr. 48, S. 101 (1960)

51) GRAFF, K. Handbuch der Astrophysik Bd. VII S. 416 (1936)

52) SCHÖNBERG, E. Deutsche Ausgabe der Fiat-Review of German Science Bd. 20 S. 290

53) WHIPPLE, F.L. Earth, Moon and Planets S. 167 (London 1947)

54) WELLMANN, P. Radio-Astronomie S. 125 (1957)

55) HORNER, F. Nature 180 S. 1253 (1957)

56) GOCKEL, A. Das Gewitter S. 97 ff (1925)

57) PRIESTER, W. Die Sterne 32 S. 78 (1956)

58) WILDT, R. Monthly Netices of the Royal Astr.Sec. 99 S. 616 (1939)

59) JUNG, D. Physikalische Verhandlungen 11 S. 110 (1960)

L e b e n s l a u f

Ich, Hans-Jost Carl Cornelius Jens B I N G E , wurde als Sohn des Obersteuerinspektors Johannes BINGE und seiner Ehefrau Franziska, geb. MÜLLER, am 2. September 1924 zu Hamburg geboren.

Durch Geburtsschaden bedingte Lähmungserscheinungen (Athetose) hinderten mich am Schulbesuch. Dieser wurde ersetzt durch den Hausunterricht tüchtiger junger Lehrer, der mir eine allgemeine Bildung vermittelte, die dem Schulplan einer Oberschule entspricht.

Nachdem meine Lehrer zum Kriegsdienst eingezogen waren, habe ich mich durch eifriges Selbststudium weitergebildet.

Schon frühzeitig galt mein ganzes Interesse der Mathematik und den Naturwissenschaften. Ich habe deshalb einschlägige Kurse der Volkshochschule besucht.

Vom Wintersemester 1948/49 bis zum Sommersemester 1951 war ich als Gasthörer an der Universität Hamburg zugelassen.

Nach Ablegung der Begabtenprüfung wurdemir mit Zeugnis der Schulbehörde, Hochschulabteilung, vom 29. Oktober 1951 - Akt.Z. U 157 - Matr.Nr. 63 - die Berechtigung zum Hochschulstudium zuerkannt.

Ab Wintersemester 1951 bin ich als Student unter Matr.Nr. 16667 bei der Math.-Naturw. Fakultät immatrikuliert.

Am 4. Dezember 1953 habe ich die Vordiplom-Prüfung bestanden.

Das Diplom als Diplom-Physiker habe ich am 29. Mai 1958 erworben.

Seither habe ich bei Herrn Prof. Dr. Pascual JORDAN mich wissenschaftlich betätigt. Mir sind in dieser Zeit nacheinander Stipendien von der Joachim Jungius-Gesellschaft, der Hamburger Rotary-Stiftung und von der Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz zuteil geworden.

Für die Anregung zu meiner Dissertation danke ich den Herren Prof. Dr. Pascual JORDAN, Prof. Dr. Paul RAETHJEN und Dr. Klaus STROBACH.